

Caracterización y manejo de una disfunción oculomotora: a propósito de un caso

Carmen Bilbao Porta, Msc^{1,2,3}. Coleg. 19.734
David P. Piñero Llorens, Phd^{3,4}. Coleg. 11.103

Resumen

Un niño de 11 años derivado de la Unidad Infantil por pérdidas de fijación en la lectura, saltos de línea, un control anómalo de los saltos de palabra, lectura lenta y dolores de cabeza al final del día, para una valoración de la visión binocular acomodativa y oculomotora. Tras esta valoración se encuentra una disfunción oculomotora y se procede a evaluar y hacer el seguimiento mediante *Eye Tracking* y el *software Clinical Eye Tracker* que permite analizar la oculomotricidad en lectura y mediante estímulos visuales determinados y programados previamente. En este caso se analiza la eficacia de la subjetividad en las diferentes pruebas que valoran la oculomotricidad.

Palabras clave

Oculomotricidad, visión binocular, terapia visual.

Introducción

La oculomotricidad es una tarea que consta de tres habilidades fundamentales: los seguimientos, los sacádicos y la fijación. Es estrictamente necesario tener un buen desarrollo oculomotor y coordinar dichos movimientos para poder seguir un estímulo y determinadas acciones como la lectura, deportes o actividades de la vida diaria que se realizan con frecuencia y poderlos llevar a cabo con la máxima resolución posible.

En el desarrollo de un niño, el control de los movimientos oculares, así como la precisión en los sacádicos es importante ya que harán que la lectura sea mucho más efectiva y posible y facilitarles un desarrollo lectivo favorable. La velocidad y dirección de los sacádicos son modulados por procesos sensoriales y cognitivos, incluyendo los cambios de atención¹.

Aunque existen tests que muestran en diversos estudios unos valores normales estandarizados para grupos de edad de diferente tipo de parámetros oculomotores, no existe una batería de pruebas gold estándar que permita garantizar un diagnóstico certero de disfunción oculomotora, ya que cada prueba está especializada en definir alteraciones para actividades específicas, incluyendo sacádicos cortos, largos o seguimientos².

Las nuevas tecnologías, incluyendo los *Eye Trackers*, nos han permitido monitorizar y objetivar dichas disfunciones para no sólo poder evaluarlas sino

comparar en el tiempo las mejoras o diferencias que podrían afectar a los cambios en dicha habilidad, eliminando el sesgo en primera persona de la evaluación subjetiva por parte del ojo del examinador³. La posibilidad de referenciar la prueba a través de un sistema de captación del seguimiento ocular nos permite obtener datos más objetivos que pruebas clásicas, como por ejemplo DEM, King Devick o NSUCO, que son a día de hoy las más empleadas a nivel clínico⁴.

Este artículo muestra un caso en el que se realiza una batería de pruebas de evaluación y seguimiento mediante dos pruebas subjetivas, DEM y NSUCO, y seguido mediante el *software Clinical Eye Tracker* junto a la captación de datos mediante la barra *Tobii Eye X⁵*. La idea de realizar una batería de pruebas de forma completa, incluyendo exploraciones objetivas, se transmite mediante este caso clínico en el que sin dicha evaluación, hubiera sido muy difícil la detección de la disfunción oculomotora, así como la mejoría obtenida tras unas semanas de terapia visual.

Caso clínico

Paciente de 11 años, que acude en abril de 2019 junto a su madre por primera vez a la consulta de optometría del servicio de oftalmología, derivado de la unidad infantil. Según la logopeda, a sus 11 años todavía seguía con el dedo la línea y se perdía constantemente. No aprecia que este gesto sea normal para su edad⁶.

Durante la primera visita, se le realiza una batería de pruebas junto a una entrevista previa tanto a la madre como al niño. Los síntomas principales son:

- Borrosidad de las letras tras un periodo prolongado en la lectura.
- Dolores de cabeza al finalizar el día con asiduidad.
- Movimiento de las letras y palabras.
- Necesidad de seguir con el dedo la lectura.
- Dificultad para dibujar.
- Dificultad con los deportes de balón y pelota.
- Rechazo a la lectura.

Nuestra evaluación constó de tres fases, una refracción subjetiva lo más exacta posible, una evaluación de las habilidades de la visión binocular y valores acomodativos y valoración de la oculomotricidad a través de tres tests diferentes, uno de ellos subjetivo (NSUCO, Maples & Flicking 1988), otro algo más objetivo (*Developmental Eye Movement*, DEM) y otro totalmente objetivo (*Eye Tracker*), a través de un *software* denominado *Clinical Eye tracker*⁷⁻⁹.

El test NSUCO (*Northern State University College of Optometry*) de Maples&Flicking 1988 es un test objetivo que puede evaluar a niños desde los cinco años y se caracteriza por poder valorar de forma binocular la habilidad, precisión y movilidad de cabeza y cuerpo en la fijación, sacádicos y movimientos oculares.

El test DEM es un test visuo-verbal que se realiza a niños desde los 6 años en el que se determina, bajo unos valores normalizados por edades, el tiempo

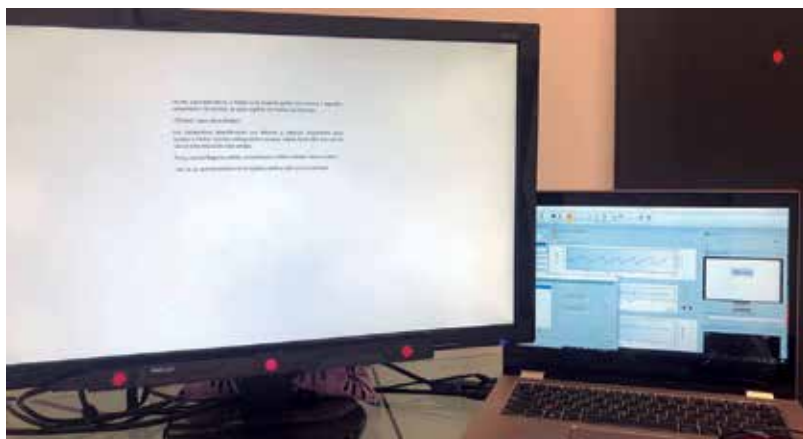


FIGURA 1

A la izquierda, *Eye Tracker* junto con pantalla de presentación del test y a la derecha el *software Clinical Eye Tracker* para el análisis de la mirada.

que tarda en leer unas columnas de números con distintas configuraciones y, según los resultados, se podría identificar si no existe alteración oculomotora (Tipo I), si existe una disfunción oculomotora (Tipo II), una disfunción en la automatización numérica (Tipo III), o una combinación de ambas (Tipo IV)^{10,11}. *Clinical Eye Tracker*® es un *software* con dos monitores en el que en uno se expone un texto y posteriormente dos puntos para evaluar con el *Eye Tracker Tobi Eye X*® las habilidades sacádicas durante la lectura, así como la calidad de estos sacádicos. Las habilidades visuales más importantes capaz de evaluar este *software* son las siguientes¹²:

- Estabilidad de convergencia en tiempo real.
- Fijaciones por minuto.
- Número de regresiones y porcentaje.
- Palabras por minuto.
- Gráfica con la posición X de los ojos y el tiempo.

Dentro del test, a través del *software* junto con el *Eye Tracker*, se realiza en dos fases:

- La primera fase se trata de la lectura de un texto que se proyecta en un monitor junto con el *Eye Tracker Tobi*®, quedando almacenados en el *software Clinical Eye Tracker*® para su posterior análisis¹³.
- La segunda fase de esta prueba consta de dos subfases: en la primera se presenta dos luces en una pantalla que aparecen de forma alternante en intervalos de un segundo y están separadas 20 cm, mientras que en la segunda se representa lo mismo, pero en intervalos de 0,5 segundos.

Evaluación inicial

Tras la entrevista, se procedió a la evaluación de las dos primeras fases, la refracción subjetiva y la valoración de la visión binocular. Los resultados se muestran en la *tabla 1*.

Los valores de la *tabla 1* se encuentran la mayoría dentro de la normalidad para la edad del paciente. Walline et al (1998)¹⁴, tras un estudio con 1045 pacientes, obtuvieron un valor medio de foria en VL de $-0,01 \pm 0,39 \Delta$ y para VP de $-0,62 \pm 1,46 \Delta$ en niños pequeños (1º grado) y de $-0,02 \pm 0,51 \Delta$ en VL y $-0,26 \pm 1,59 \Delta$ para niños más mayores (5º grado). Según Jiménez et al (2004)¹⁵, los valores medios de foria en VL y VP eran en población pediátrica de $0,6 \pm 1,7 \Delta$ y $-0,4 \pm 3,1 \Delta$, respectivamente. Respecto a las vergencias fusionales existen tres puntos de anotación: punto de borrosidad, de ruptura y recobro. Existen varios valores de normalidad propuestos para las vergencias fusionales según autores, pero hemos escogido uno de los más actualizados, por Antona et al¹⁶. Estos ↩

TABLA 1

AV: Agudeza visual. VP: Visión próxima. VL: Visión Lejana. OD: Ojo derecho. OI: Ojo izquierdo. AO: Ambos Ojos. BMC: Biomicroscopía. VFP: Vergencias fusionales positivas. VFN: Vergencias fusionales negativas. AA: Amplitud acomodativa. MEM: Retardo acomodativo. FAM: Flexibilidad acomodativa monocular. FAB: Flexibilidad acomodativa binocular. ARN: Acomodación relativa negativa. ARP: Acomodación relativa positiva.

Fecha: 11/09/2019

Valores iniciales		Valores binoculares		Valores acomodativos	
AV (VL):	OD: 1,2 OI: 1,2 AO: 1,2	Fusión: Worth	VL: 4 luces VP: 4 luces	AA:	OD: 10 D OI: 10 D
AV (VP):	OD: 1 OI: 1 AO: 1	Cover Test	VL: Orto VP: 2XF'	MEM:	OD: +0,50 OI: +0,25
Estereopsis: Titmus Wirt	VL: 40 VP: 32	Foria disociada Maddox:	Orto	FAM: FAB:	12 cpm OD: OI:
Color: Ishihara	Sin discromatopsias	VFP:	VL: x/4/2 VP 6/8/6	ARN	+2,50
BMC:	Sin anomalías	VFN:	VL: 4/8/6 VP: 14/25/20	ARP	-2,50

↗ autores midieron mediante el diasporámetro o prisma de Risley del foróptero¹⁶.

TABLA 2

Valores normales de vergencias fusionales según Antona et al.

BN en VL	BT en VL	BN en VP	BT en VP
X/10 ±2/5 ±2	16 ±6/25 ±7/12 ±6	12±4/16±4/8±4	22±7/29±8/19±7

Para el análisis de la amplitud acomodativa tuvimos en cuenta los valores según Hofstetter en el que indica que la AA mínima debe ser 15- 1/3 de la edad del paciente.

En lo que respecta a los resultados de oculomotricidad:

NSUCO

Seguimientos oculares

- Habilidad: 2 (Completa media rotación)
- Precisión: 1 (Más de 10 refijaciones)
- Movimientos cabeza y cuerpo: 1 (movimientos excesivos de cabeza y cuerpo)

Sacádicos

- Habilidad: 2 (Completa dos rondas)
- Precisión: 1 (Sacádicos hipométricos, se pierde)
- Movimientos cabeza y cuerpo: 1 (movimientos excesivos de cabeza y cuerpo)

TABLA 3

Valores normales de las habilidades oculomotoras según Maples & Flickling 1988, NSUCO.

Valores normales para un niño varón de 11 años	Habilidad	Precisión	Movimientos cabeza y cuerpo
Sacádicos	5	4	4
Seguimientos oculares	5	3	4

Los valores normales de los seguimientos oculares y los sacádicos para la edad del sujeto se encuentran por debajo de la normalidad según la tabla de Maples & Flickling 1988¹⁷.

Fijación (más de 10 segundos):

- Habilidad: 5 (completa los 10 segundos).
- Precisión: 4 (más de 2 refijaciones).
- Movimientos de cabeza y cuerpo: 4 (ligeros movimientos).

En lo que respecta al DEM, se obtuvo lo siguiente:

- Tiempo vertical: 30" + 41" = 212".
- Tiempo Horizontal: 212".
- Errores totales: 25 omisiones (se salta 5 líneas).

Por último, en lo que respecta al *Clinical Eye Tracker*, se obtuvo lo siguiente:

TABLA 4

Valores normales de los tiempos en el test DEM.

Valores normales DEM	Tiempo Vertical (s.)	Tiempo Horizontal (s.)	Errores	Ratio
Edad 11.0 – 11.11	37.14(SD=5.42)	42.62(SD=7.61)	1.68(SD=2.34)	1.15(SD=0.13)

1ª PRUEBA

Véase figura 2, 3 y tabla 5.

2ª PRUEBA

Sacádicos 20 cm con intervalo de 1 segundo:

Véase figura 4.

Sacádicos 20 cm con intervalo de 0,5 segundos:

Véase figura 5.

Observaciones

Los datos de la visión binocular se encuentran en su mayoría dentro de la normalidad excepto los valores de amplitud acomodativa, lo que nos podría indicar un potencial problema añadido a la disfunción oculomotora que podría presentar este paciente. No obstante, en ningún caso ha mostrado sintomatología al respecto. De todos modos, estos valores acomodativos normalizados deberían revisarse ya que las actividades visuales en la actualidad han cambiado respecto a la de hace unos años^{18,19}.

Respecto a la oculomotricidad, en el test DEM se observa una disfunción oculomotora tipo IV, es decir, una disfunción de automatización de números junto con una disfunción oculomotora. Los percentiles tanto de los tiempos horizontal como vertical se encuentran por debajo de 1. En cuanto al test NSUCO, también se muestran valores en todos los aspectos por debajo de la normalidad según sus tablas de valores normalizados por edad y sexo. En el análisis de mirada con eye tracker (tabla 4), se observan un porcentaje de refijaciones muy elevado respecto a la media de la población, que se encuentra en torno al 10-20% según definieron Scheiman y Wick en 1994²⁰. En la figura 2, en la cual se muestra un mapa del rastreo visual, se muestran pérdidas de fijación del texto además de una estabilidad de convergencia poco lineal respecto a la posición X de los ojos. En cuanto al análisis de los sacádicos, en el primer subtest se muestra cómo hace una parada antes de llegar al estímulo izquierdo, y en la gráfica respecto al tiempo, se observan los sacádicos hipométricos. Así pues, también se puede presenciar la ausencia de habilidad normalizada en el segundo subtest, cuando el estímulo se presenta de forma alternante en intervalos de 0,5 segundos, lo que nos podría indicar que, en esta distancia, la velocidad de un sacádico a otro a 20 cm es inferior a 500 ms.

Intervención

Tras la evaluación se determina un plan de entrenamiento visual para mejorar las habilidades oculomotoras, ya que existe evidencia previa de que dicho entrenamiento puede ser efectivo²¹. El plan de

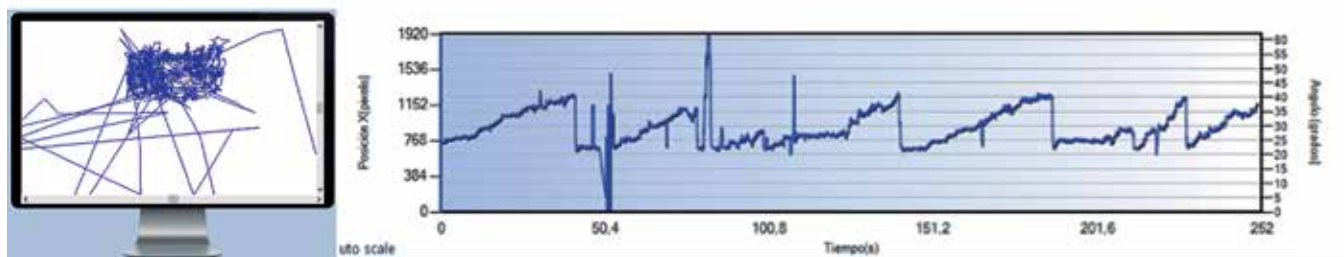


FIGURA 2

A la izquierda, rastreo de la mirada durante el texto. A la derecha, gráfica de la posición de los ejes visuales y el tiempo en segundos.

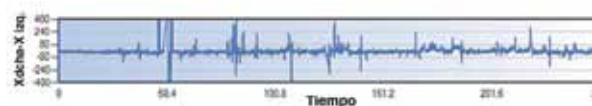


FIGURA 3

A la izquierda, rastreo de la mirada durante el texto. A la derecha, gráfica de la posición de los ejes visuales y el tiempo en segundos.

TABLA 5

Tabla de análisis de la mirada durante el texto.

Resumen estadístico		Estadísticas de fijación		Estadísticas del sacádico	
Distancia de visualización	485 mm.	Número de fijaciones	296	Número de sácadas de derecha	172
Palabras/minuto	31	Número medio de fijaciones	22,77	Número total de regresiones	111
Fijaciones/minuto	71			Regresiones/fijaciones	37,5%

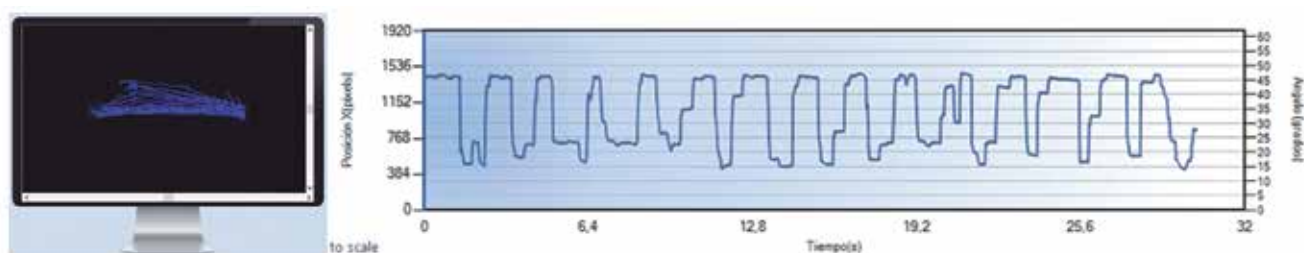


FIGURA 4

A la izquierda, rastreo de la mirada durante el test. A la derecha, gráfica de la posición de los ejes visuales y el tiempo en segundos.

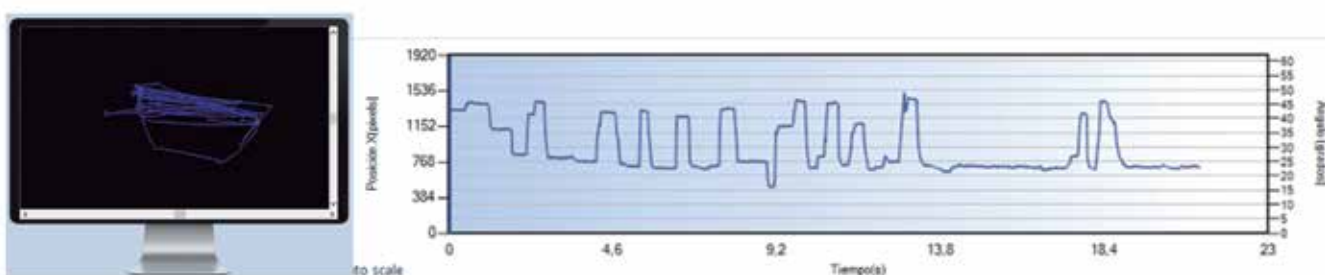


FIGURA 5

A la izquierda, rastreo de la mirada durante el test. A la derecha, gráfica de la posición de los ejes visuales y el tiempo en segundos.

entrenamiento consistió en 15 sesiones en consulta de aproximadamente 45 minutos combinado con ejercicios en casa de 20 minutos 4 días a la semana²². Los procedimientos empleados en este caso fueron los normalmente utilizados en un plan de terapia vi-

sual para disfunciones oculomotoras, introduciendo algún elemento tecnológico para motivar al paciente: pelota de Marsden, cartas de Hart, rotador, cartas sacádicas de Hart, tiras de letras y números sacádicas, cordón de Brock, anaglifs y vectogramas, eye ↵

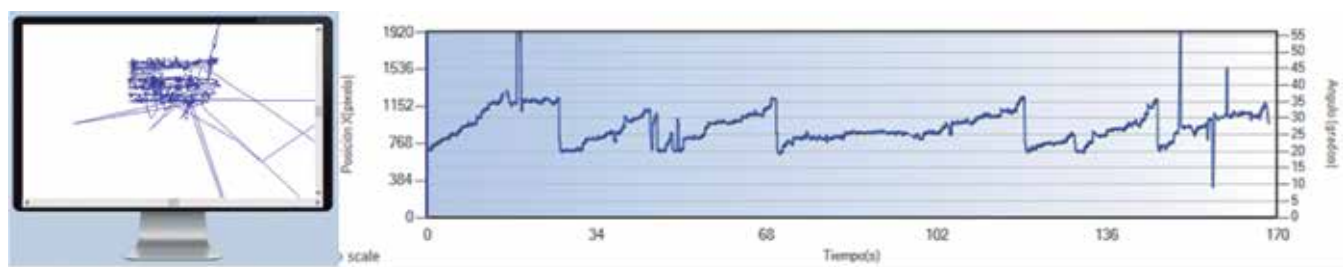


FIGURA 6

A la izquierda, rastreo de la mirada durante el texto. A la derecha, gráfica de la posición de los ejes visuales y el tiempo en segundos.

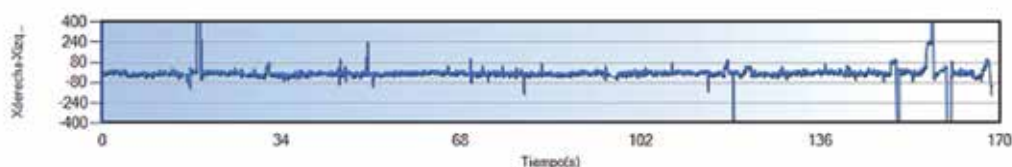


FIGURA 7

Gráfica de la estabilidad de convergencia en función del tiempo en segundos.

TABLA 6

Tabla de análisis de la mirada durante el texto.

Resumen estadístico		Estadísticas de fijación		Estadísticas del sacádico	
Distancia de visualización	537 mm.	Número de fijaciones	236	Número de sácadas de derecha	152
Palabras/minuto	36	Número medio de fijaciones	23,60	Número total de regresiones	74
Fijaciones/minuto	84			Regresiones/fijaciones	31,4%

📱 *Tracker*, app para la *Tablet* y laberintos²³.

Tras finalizar la terapia, se realizó una evaluación final donde se observaron y cuantificaron los cambios de las habilidades de la oculomotricidad.

Fecha: 5/11/2019

NSUCO

Seguimientos oculares

- Habilidad: 5 (Completa las dos rotaciones).
- Precisión: 5 (1 refijación).
- Movimientos cabeza y cuerpo: 5 (sin movimientos de cabeza y cuerpo).

Sacádicos:

- Habilidad: 5 (Completa las 5 rondas).
- Precisión: 4 (algún sacádico hipométrico).
- Movimientos cabeza y cuerpo: 5 (sin movimientos de cabeza y cuerpo).

DEM

- Tiempo vertical: 25" + 28" = 53".
- Tiempo Horizontal: 65".
- Errores totales: 2 sustituciones.

Clinical Eye Tracker

1ª PRUEBA:

Véase figura 6, 7 y tabla 6.

2ª PRUEBA

Sacádicos 20 cm con intervalo de 1 segundo:

Véase figura 8.

Sacádicos 20 cm con intervalo de 0,5 segundos:

Véase figura 9.

Observaciones

Se observó una mejoría de la habilidad en el test NSUCO (sacádicos y seguimientos), del control de las refijaciones y corporal y de cabeza si comparamos los valores iniciales con los que se adquieren tras finalizar la terapia. Específicamente, se observan mejoras a nivel motor ocular en sacádicos amplios de 20 cm, pero no en los sacádicos de amplitud corta, ya que los valores siguen por debajo de la normalidad en el test DEM y no son comparables con el test objetivo mediante Eye Tracking²⁴. Podemos concluir que este caso se rehabilitó de forma exitosa la oculomotricidad según el test NSUCO, que evalúa sacádicos de 20 cm de amplitud, pero no el test DEM, que evalúa sacádicos cortos y además depende de una labor cognitiva. Hay que tener en cuenta que la paciente presentaba un trastorno específico de aprendizaje que cursaba con dislexia, teniendo unas mayores limitaciones en la capacidad de mejora de ciertos aspectos de la oculomotricidad.

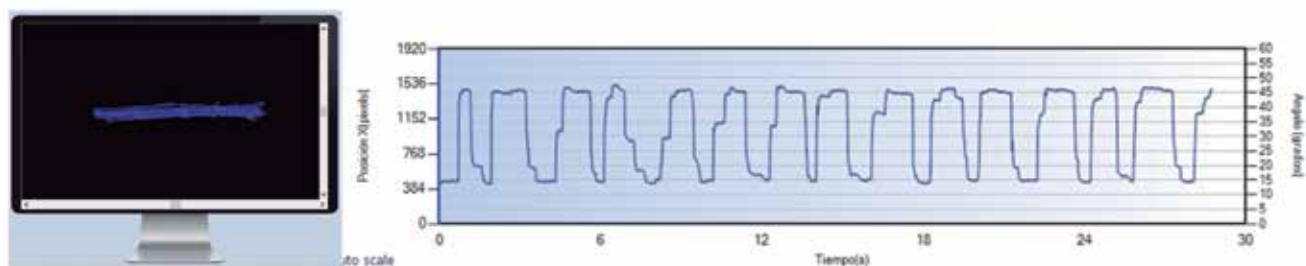


FIGURA 8

A la izquierda, rastreo de la mirada durante el test. A la derecha, gráfica de la posición de los ejes visuales y el tiempo en segundos.

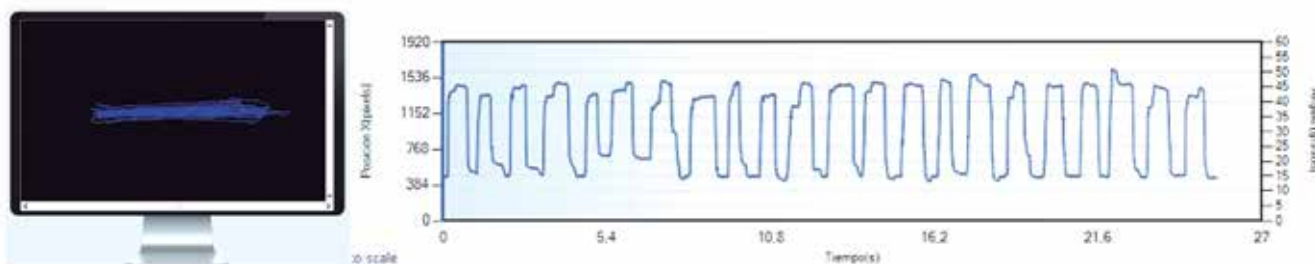


FIGURA 9

A la izquierda, rastreo de la mirada durante el test. A la derecha, gráfica de la posición de los ejes visuales y el tiempo en segundos.

Discusión y conclusiones


La terapia visual en disfunciones oculomotoras es la primera opción según diversos autores, incluyendo el manual de Scheiman y Wick²⁰ y estudios científicos desarrollados a posteriori²⁵. Sin embargo, los criterios diagnósticos establecidos para definir estas disfunciones siguen sin tener un consenso general y sin ser validados a gran escala. Diversos autores lo han intentado empleando los tests DEM, NSUCO y King Devick. Hay que tener en cuenta que el test de King Devick ha sido validado principalmente para evaluar personas con conmoción cerebral, no siendo empleado en este caso por tener dudas acerca de su utilidad^{26,27}.

Los tests utilizados no monitorizados empleados en este caso clínico son DEM y NSUCO, los cuales tienen sesgos como la necesidad del control del examinador, el estado de atención del paciente o el idioma. La evidencia científica en este aspecto no es clara,⁴ mostrando los estudios actuales una clara tendencia al uso de los dispositivos de rastreo ocular para evitar así los sesgos producidos por la intervención continua el examinador²⁸. Hay que tener en cuenta que el test DEM y los tests de lectura evalúan sacádicos cortos, pero no tienen en cuenta los sacádicos amplios como el test NSUCO. Además, las demandas cognitivas son muy diferentes con estas dos tipologías de tests. Por ello, en nuestro caso, al final de la terapia obtenemos valores diferenciados con DEM y NSUCO. Sería recomendable, por tanto, realizar estos dos tests cuando pretendamos hacer una evaluación completa de la oculomotricidad y disponer datos concluyentes ante una potencial

anomalía oculomotora, siempre y cuando no se disponga de un registro con *eye tracker*.

Los resultados de la evaluación de este caso clínico tras la intervención mediante terapia visual muestran una clara mejora en sacádicos amplios, así como en la habilidad y precisión de los movimientos oculares reportados con el test NSUCO. En cambio, no se observa una mejora significativa en el test DEM. Curiosamente el test DEM supone una mayor demanda cognitiva y eso podría estar condicionado por la presencia de un trastorno de aprendizaje cursando con dislexia en este caso. Hay que recordar que los trastornos de aprendizaje, tales como la dislexia, no son de causa visual y, por tanto, el tratamiento de los problemas visuales que puedan coexistir no implica la mejora del cuadro y de las limitaciones cognitivas y del neurodesarrollo que existan⁴. Por otro lado, sigue siendo necesario una mayor caracterización y protocolización de los procedimientos a utilizar en estas anomalías oculomotoras con el fin de optimizar el proceso de intervención.

Por último, en este caso, se ha podido reportar el seguimiento y diagnóstico de una anomalía oculomotora mediante la monitorización de los movimientos oculares mediante un sistema *eye tracker* de forma objetiva, obteniéndose resultados compatibles con los obtenidos con otros tests convencionalmente empleados. En cambio, queda reflejado un gran avance en cuanto a la objetivación, disminución de sesgos y tiempo de ejecución por lo que podría ser el nuevo sistema de detección, seguimiento y rehabilitación de las habilidades ↴

↵ oculomotoras. Sin embargo, siguen siendo necesarios criterios diagnósticos validados para detectar anomalías oculomotoras empleando parámetros medidos con sistemas *eye tracker*. Asimismo, es necesario tipificar y caracterizar las potenciales anomalías oculomotoras que pueden existir y su nivel de relación con alteraciones cognitivas y del neurodesarrollo. 

Lugar de trabajo de los autores

¹ Unidad Infantil. Departamento optometría Policlínica Alto Aragón, Huesca, España

² Universidad de Zaragoza.

³ Grupo de Óptica y Percepción Visual. Departamento de Óptica, Farmacología y Anatomía. Universidad de Alicante, España.

⁴ Unidad de Optometría Clínica, Departamento oftalmología, Vithas Medimar Hospital.

Bibliografía

- Reingold EM, Stampe DM. Saccadic inhibition in voluntary and reflexive saccades. *J Cogn Neurosci* 2002; 14: 371-88.
- Heick J, Bay C, McLeod TV. Evaluation of vertical and horizontal saccades using the developmental eye movement test compared to the king-devick test. *Int J Sports Phys Ther* 2018; 13: 808-18.
- Khan MQ, Sukhan L. Gaze and eye tracking: techniques and applications in ADAS. *Sensor (Basel)* 2019; 19: 5540.
- Bilbao C, Piñero DP. Diagnosis of oculomotor anomalies in children with learning disorders. *Clin Exp Optom* 2019 Dec 23. doi: 10.1111/cxo.13024. Online ahead of print.
- van Renswoude DR, Raijmakers MEJ, Koornneef A, Johnson SP, Hunnius S, Visser I. Gazepath: An eye-tracking analysis tool that accounts for individual differences and data quality. *Behav Res Methods* 2018; 50: 834-52.
- Jafarlou F, Jarollahi F, Ahadi M, Sadeghi-Firoozabadi V, Haghani H. Oculomotor rehabilitation in children with dyslexia. *Med J Islam Repub Iran* 2017; 31: 125.
- Blignaut P, van Rensburg EJ, Oberholzer M. Visualization and quantification of eye tracking data for the evaluation of oculomotor function. *Heliyon* 2019; 5: e01127.
- Nilsson Benfatto M, Öqvist Seimyr G, Ygge J, Panseil T, Rydberg A, Jacobson C. Screening for dyslexia using eye tracking during reading. *PLoS One* 2016; 11: e0165508.
- Hessels RS, Hooge ITC. Eye tracking in developmental cognitive neuroscience - The good, the bad and the ugly. *Dev Cogn Neurosci* 2019; 40: 100710.
- Heick JD, Bay C, Valovich McLeod TC. Evaluation of vertical and horizontal saccades using the Developmental Eye Movement test compared to the King-Devick test. *Int J Sports Phys Ther* 2018; 13: 808-18.
- Moiroud L, Gerard CL, Peyre H, Bucci MP. Developmental Eye Movement test and dyslexic children: a pilot study with eye movement recordings. *PLoS One* 2018; 13: e0200907.
- Niehorster DC, Cornelissen THW, Holmqvist K, Hooge ITC, Hessels RS. What to expect from your remote eye-tracker when participants are unrestrained. *Behav Res Methods* 2018; 50: 213-27.
- Gibaldi A, Vanegas M, Bex PJ, Maiello G. Evaluation of the Tobii EyeX Eye tracking controller and Matlab toolkit for research. *Behav Res Methods* 2017; 49: 923-46.
- Walline JJ, Mutti DO, Zadnik, Jones LA. Development of phoria in children. *Optom Vis Sci* 1998; 75: 605-10.
- Jiménez R, Pérez MA, García JA, González MD. Statistical normal values of visual parameters that characterize binocular function in children. *Ophthalmic Physiol Opt* 2004; 24: 528-42.
- Antona B, Barrio A, Barra F, Gonzalez E, Sanchez I. Repeatability and agreement in the measurement of horizontal fusional vergences. *Ophthalmic Physiol Opt* 2008; 28: 475-91.
- Walker K, Redman-Bentley D, Remick-Waltman K, Armstrong DC. Differences in oculomotor function between children with sensory processing disorder and typical development. *Optom Vis Sci* 2019; 96: 172-9.
- Hashemi H, Saatchi M, Yekta A, Ali B, Ostadimoghaddam H, Nabovati P, Aghamirsalam M, Khabazkhoob M. High prevalence of asthenopia among a population of university students. *J Ophthalmic Vis Res* 2019; 14: 474-82.
- Abu KE, Ocansey S, Yennu J, ASirifi I, Marfo R. Comparing different methods of measuring accommodative amplitude with Hofstetter's normative values in a Ghanaian population. *Curr Eye Res* 2018; 43: 1145-50.
- Scheiman M, Wick B. Clinical management of binocular vision-heterophoric, accommodative, and eye movement disorders. Philadelphia, PA: Lippincott; 1994.
- Niehorster DC, Siu WW, Li L. Manual tracking enhances smooth pursuit eye movements. *J Vis* 2015; 15: 11.
- Yokoi K, Tomita T, Saida S. Improvement of Reading Speed and Eye Movements. *Iperception* 2011; 2: 263.
- Shandiz JH, Riaz A, Khorasani AA, Yazdani N, Torab Mostaeidi M, Zohourian B. Impact of vision therapy on eye-hand coordination skills in students with visual impairment. *J Ophthalmic Vis Res* 2018; 13: 301-6.
- Raghuram A, Gowrisankaran S, Swanson E, Zurakowski D, Hunter DG, Waber DP. Frequency of Visual Deficits in Children With Developmental Dyslexia. *JAMA Ophthalmol* 2018; 136: 1089-95.
- Coetzee D, Pienaar AE. The effect of visual therapy on the ocular motor control of seven- to eight-year-old children with Developmental Coordination Disorder (DCD). *Res Des Disabil* 2013; 34: 4073-84.
- Russell-Giller S, Toto D, Heitzman M, Naematullah M, Shumko J. Correlating the King-Devick test with vestibular/ocular motor screening in adolescent patients with concussion: a pilot study. *Sports Health* 2018; 10: 334-9.
- Galetta KM, Liu M, Leong DF, Ventura RE, Galetta SL, Balcer L. The King-Devick test of rapid number naming for concussion detection: meta-analysis and systematic review of the literature. *Concussion* 2015; 1(2): CNC8.
- Moiroud L, Gerard CL, Peyre H, Bucci MP. Developmental Eye Movement test and dyslexic children: a pilot study with eye movement recordings. *PLoS One* 2018; 13: e0200907.
- Al-Rahayfeh A, Faezipour M. Eye Tracking and Head Movement Detection: A State-of-Art Survey. *IEEE J Transl Eng Health Med*. 2013 Nov 6;1:2100212. doi: 10.1109/JTEHM.2013.2289879. PMID: 27170851; PMCID: PMC4839304.